

# 工艺参数对中密度纤维板断面密度分布的影响

张 扬 于志明

(北京林业大学材料科学与技术学院)

**摘要:**为了研究平压法热压中密度纤维板过程中板坯含水率分布和热压曲线对板材断面密度分布(VDP)的影响,制取平坦型和陡平型VDP板材,该文通过改变板坯含水率分布以及热压曲线,热压不同VDP的中密度纤维板,分析各工艺参数对板材表面质量、表层厚度、表心层密度比、心层最低密度的影响。结果表明:适当增大板坯的含水率,可以改善板材的表面质量,提高表心层的密度比,降低心层密度;在高压阶段不超过压机闭合时间的前提下,提高高压压力,增长高压作用时间,有利于提高表心层的密度比;第一次降压压力的存在,使得表心层密度比减小,心层密度增加;当高压压力较小、作用时间较短时,采用较低的第一次降压压力,可以使得表层厚度增加、表心层密度比减小,有利于制取平坦型VDP板材;当高压压力较大、作用时间较长时,控制第一次降压压力的大小,使得表层最高密度基本不变、表层厚度减小、心层密度增加,有利于制取陡平型VDP板材。

**关键词:** 中密度纤维板;热压曲线;断面密度分布

**中图分类号:** TS653.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2009)04-0118-05

ZHANG Yang; YU Zhi-ming. Effects of hot-pressing parameters on vertical density profile of MDF. *Journal of Beijing Forestry University* (2009) 31(4) 118-122 [Ch, 12 ref.] College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

MDF samples with different vertical density profiles (VDP) were fabricated under controlled mat moisture distribution and hot-pressing curve. The effects of hot-pressing parameters on MDF surface quality, surface layer thickness, surface-inner density ratio, and the lowest inner layer density were investigated. The results indicated that moderately increasing the moisture content would improve the surface quality, increase the surface-inner density ratio, lower down inner layer density. On the hot-pressing curve, moderately increasing the "high pressure" value and extending the hot-pressing time in "high pressure" region would increase the surface-inner density ratio. The pressure for the 1st pressure dropping tended to decrease the surface-inner density ratio and increase the inner layer density. When decreasing the "high pressure" value, shortening the hot-pressing time, and applying the lower pressure for the 1st pressure dropping, surface layer thickness was increased, surface-inner density ratio was decreased, and this was more favorable to fabricate the "flat pattern" VDP panel; while increasing the "higher pressure" value, extending the hot-pressing time, and controlling the pressure for the 1st pressure dropping would keep surface density peak staying put, and lower down the surface layer thickness, increase inner layer density, which were more favorable for fabricating the "sharp-flat" VDP panel.

**Key words** MDF; hot-pressing curve; vertical density profile (VDP)

中密度纤维板的断面密度分布(VDP)反映了在厚度方向上的密度变化规律,是纤维板材料的重要结构特征和物理性质,也是影响人造板物理力学性

能的重要因素<sup>[1]</sup>。表层密度影响板材的静曲强度、硬度、表面质量及二次加工性能;心层密度影响内结合强度;表心层过渡区曲线应平滑<sup>[2]</sup>。在平均密度

收稿日期:2008-07-10

http://www.bjfujournal.cn, http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD18B0904)、“948”国家林业局引进项目(2006-4-106)。

第一作者:张扬。主要研究方向:木材科学与技术。电话:13810184391 Email:zhangyang042002@yahoo.com.cn 地址:100083 北京林业大学材料科学与技术学院。

责任作者:于志明,教授,博士生导师。主要研究方向:木材科学与技术。电话:010-62338050 Email:yuzhiming@bifu.edu.cn 地址:同上。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一定的情况下,表心层密度差越大,静曲强度越大,内结合强度越小;反之则静曲强度越小,内结合强度越大<sup>[3]</sup>。在直接作为素板或装饰纸贴面时,应选择表层密度高、心层密度低的板材,但心层密度太小的板材会影响板材的内结合强度和握钉力,表心层密度比应控制在 1.7 以下;当需要薄木或塑料贴面板覆面时,应选择表心层密度差很小的板材<sup>[4]</sup>。因此,通过工艺参数的调整,实现在保持板材表层高密度的同时提高心层密度和生产 VDP 均匀的中密度纤维板,从而提高板材的整体力学性能,减少原辅材料的用量,提高强重比。

含水率、板坯结构、热压环境是形成中密度纤维板的 3 个主要因素<sup>[5]</sup>。在影响中密度纤维板 VDP 的工艺因素中,板坯含水率和闭合时间是最关键的因素<sup>[3]</sup>,闭合时间由板坯含水率和热压曲线共同决定的。本文通过改变纤维板板坯含水率分布和热压曲线,系统的研究工艺参数与中密度纤维板 VDP 的关系,寻求最佳的工艺参数,制取适用于不同用途的 VDP 板材。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要仪器设备与材料

IMAL-UM200 含水率测定仪、热压机、DA-X 断面密度分布仪、DF822 电热鼓风干燥箱、北京森华人造板公司中纤板生产线上取出的硬杂木混合木纤维以及脲醛树脂胶黏剂。

### 1.2 方法

通过改变板坯含水率和热压压力参数,实验室定厚平压成平均密度为  $(750 \pm 20) \text{ kg/m}^3$ 、厚度为  $(12 \pm 0.5) \text{ mm}$  的纤维板,每组试件重复试验 3 次。其中施胶量为 8%,热压温度为  $170^\circ\text{C}$ ,整个热压时间 400 s。热压后不经过砂光直接使用 DA-X 断面密度测试仪测试各中密度纤维板试件的 VDP。

## 2 结果与分析

### 2.1 中密度纤维板 VDP 曲线的量化

如图 1 所示,中密度纤维板 VDP 呈对称的马鞍型结构,表层密度高,心层密度低,表层存在一定厚度的低密度区即表面低密度区。表心层密度比体现板材 VDP 的陡峭程度;越薄的表面低密度区厚度,板材的表面性能越好,所需砂光量越小;在表层最高密度较薄的表层厚度有助于心层密度的提高。因此当平均密度和厚度一致时,可以用表心层密度比、心层密度、表面低密度区厚度、表层厚度来量化板材的 VDP。

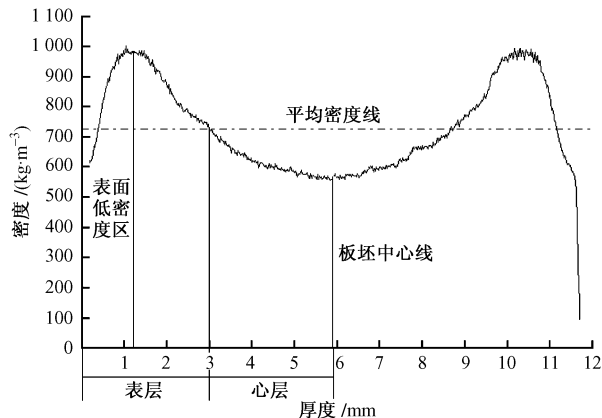


图 1 中密度纤维板 VDP 曲线的量化

FIGURE 1 Vertical density profile (VDP) of MDF

### 2.2 中密度纤维板 VDP 的分类及特点

根据中密度纤维板 VDP 形状不同,大致可以分为陡平型、陡峭型和平坦型 VDP 板材。陡峭型 VDP 板材具有较高的表心层密度比以及一定厚度的表面低密度区;平坦型 VDP 板材的表心层密度比较低,断面密度分布比较均匀;陡平型 VDP 板材比陡峭型 VDP 板材具有更高的心层密度和较薄的表面低密度区。

从材料力学和密度效应的角度看,陡峭型 VDP 具有较高的静曲强度,而平坦型 VDP 具有较高的内结合强度,陡平型 VDP 既具有较高的内结合强度又具有较高的静曲强度。因此就应用性能而言,在直接作为素板使用或装饰纸贴面时,陡平型 VDP 板材最佳,而心层密度太小的陡峭型板材则会影响板材的内结合强度和握钉力<sup>[3]</sup>;当需要薄木或塑料贴面板覆面时,平坦型 VDP 是最佳选择,但要注意控制表面低密度区的厚度并进行砂光。

### 2.3 热压曲线的量化因子选择

本文采用的两段式热压曲线是一种简单实用的热压工艺,既便于操作又能减小对压机的损伤。图 2 热压曲线 1 表示的是传统的两段式热压曲线,其中  $p_1$  为高压阶段压力,  $t_1$  为高压阶段时间,  $p_2$  为低压阶段压力,  $t_2$  为降压阶段时间。为了保持降压阶段板坯厚度不变,  $t_2$  不能太短,本文取  $t_2$  为 30 s;低压  $p_2$  对板材的 VDP 影响很小<sup>[3]</sup>,为了保护压机和厚度规,本文取  $p_2$  为 1.5 MPa。热压曲线 1 生产的板材显示为陡峭型 VDP,心层密度较低;热压曲线 2 可生产陡平型 VDP 和平坦型 VDP 板材,系统压力先从高压降低到压力较小的第一次降压压力  $p_3$ ,使板坯膨胀一定厚度,然后系统压力再快速上升至低压  $p_2$ 。

### 2.4 含水率对中密度纤维板 VDP 的影响

由图 3 可知,当板坯含水率为  $10.2\% \sim 15.2\%$

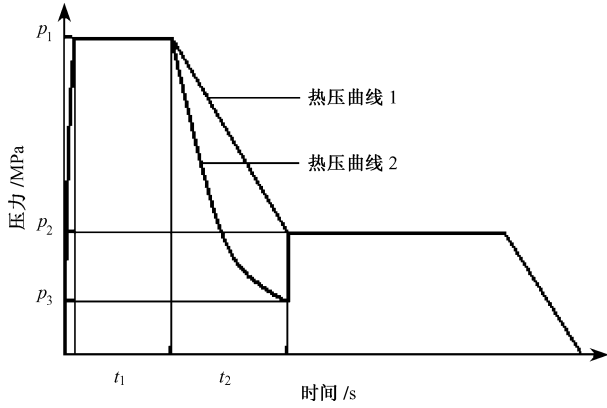


图2 热压曲线

FIGURE 2 Hot-pressing curves

时,中密度纤维板 VDP 呈陡峭型,含水率的提高使得表层密度比增大,表面低密度区和表层的厚度均减小;板坯含水率低于 7.8%时,板材 VDP 呈平坦型,但表面低密度区厚度较大。在升压速率与高压相同的条件下,板坯含水率的提高,有助于纤维弹性抗力降低和导热能力提高,使得板坯闭合时间缩短,从而使板坯闭合过程中层间纤维的力学状态不同步性加剧,表层率先进入屈服阶段。在板坯内部应力的作用下,表层密度上升,心层纤维的数目相对减少,从而出现表层密度高、心层密度低的 VDP。板坯含水率对中密度纤维板 VDP 的影响,关键在于调节板坯断面上的温度梯度与层间纤维的力学响应、力学状态梯度的消失速度以及压机闭合速度的关系<sup>[3,5-6]</sup>。

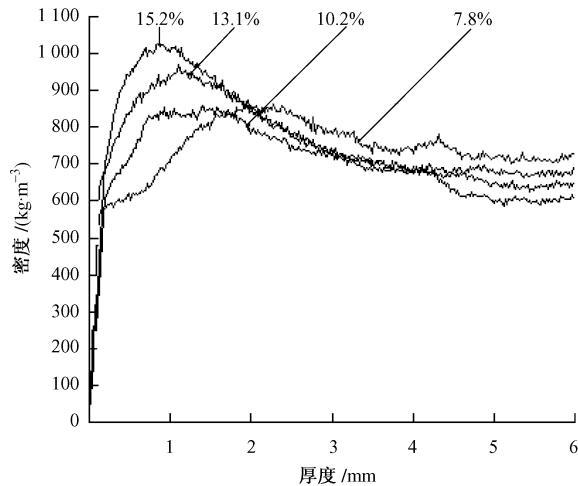


图3 不同均匀含水率时板材 VDP 比较图

FIGURE 3 Effect of uniform moisture content on VDP of the mat

注:  $t_1=60$  s,  $t_2=30$  s,  $p_1=4.0$  MPa,  $p_2=p_3=1.5$  MPa。

由图 4 可知:当板坯平均含水率基本相同时,提高板坯表层含水率,可以有效地提高表心层密度比,降低心层密度,减小表面低密度区和表层的厚度;降低板坯表层含水率,则可以降低表心层密度比,增大

心层密度,减小表面低密度区和表层的厚度。

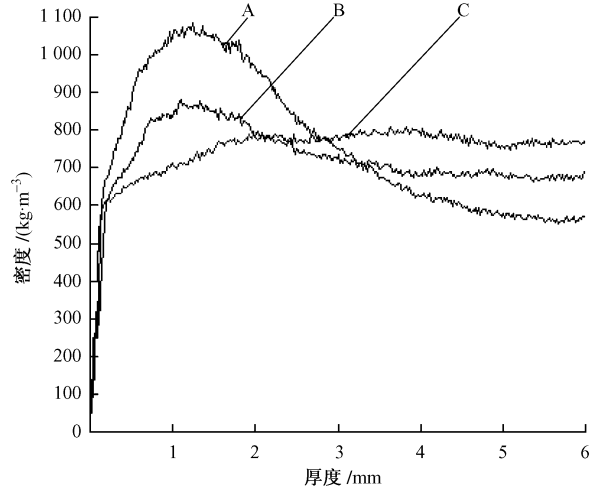


图4 含水率分布对板材 VDP 的影响

FIGURE 4 Effects of moisture content distribution on VDP of the mat

注:A 为  $M_1=13.1\%$ ,  $M_2=7.8\%$ ;B 为  $M_1=M_2=10.2\%$ ;C 为  $M_1=7.8\%$ ,  $M_2=13.1\%$ ;  $t_1=60$  s;  $t_2=30$  s;  $p_1=4.0$  MPa;  $p_2=p_3=1.5$  MPa;  $M_1$  为表层含水率,  $M_2$  为心层含水率。

通过上述分析可知,在热压曲线不变的情况下,当含水率在 7.8%~15.2%之间时,通过改变板坯的含水率分布,可以得到表心层密度比很大、心层密度较低的陡峭型 VDP 板材和表心层密度均匀的平坦型 VDP 板材,可见板坯含水率是决定表面低密度区厚度的主要因素。

### 2.5 热压曲线各因子对中密度纤维板 VDP 的影响

单纯通过控制板坯的含水率分布,可以得到陡峭型 VDP 板材和平坦型 VDP 板材,但无法得到陡平型 VDP 板材。

含水率越大,表层越薄,试验证明含水率为 15.2%时,表面低密度区厚度可以减小到 0.7~0.8 mm。为了获取较好的板坯表面质量,采用含水率为 15.2%的木纤维,分析两段式热压曲线各因子对板材 VDP 的影响,制取陡平型 VDP 板材和平坦型 VDP 板材。

由图 5 可知:高压压力越大,表心层密度比越大,心层密度越小,表面低密度区和表层的厚度基本不变。高压压力从 3 MPa 上升至 4 MPa 时,表心层密度比和心层密度的变化量较大;高压压力从 4 MPa 上升至 5 MPa 时,表心层密度比和心层密度的变化量很小。高压压力越大,在闭合阶段后期,温度相对较高的板坯表层纤维越容易被压缩,形成越高的表层密度;而心层纤维总数的相对减少量越大,心层密度越小。当高压压力上升至一定值时,由于纤维力学状态发生变化,应力应变率大幅度提高,因此高压压力虽然提高,表层密度的增加量却很小,甚至不再增加。含水率越低,纤维力学状态发生变化时的压

力越大<sup>[3,6-7]</sup>,对板材 VDP 的影响高压压力范围越大,因此高压压力  $p_1$  必须根据板坯含水率和板材目标 VDP 的要求来选择,盲目提高高压压力  $p_1$  无助于板材 VDP 表心层密度比的提高。

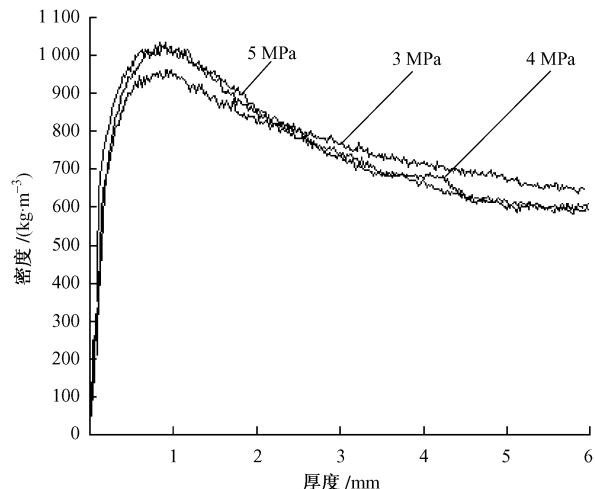


图 5 高压压力  $p_1$  对板材 VDP 的影响

FIGURE 5 Effects of the “high pressure” ( $p_1$ ) on VDP of the mat

注:  $t_1=60$  s,  $t_2=30$  s,  $p_2=p_3=1.5$  MPa。

由图 6 可知:高压作用时间  $t_1$  越长,表心层密度比越大,心层密度越小,表面低密度区和表层厚度微量减小。当高压为 4 MPa、含水率为 15.2% 时,板坯的闭合时间为 70~75 s。在压机闭合前,高压作用时间越长,表层纤维在高压作用时的温度越高、压缩性能越好,形成的密度越大,表层聚集的纤维量越多,心层纤维总量越少,心层密度越低,表心层密度比越大。当高压作用时间  $t_1$  较闭合时间长时,高压会逐渐作用到厚度规上,时间过长会压缩厚度规,对压机造成破坏,并且使板材厚度变小;高压作用时间  $t_1$  较闭合时间太短或降压阶段不够缓慢,板坯内应力来不及减小,当板坯内应力大于系统压力时,板坯会出现膨胀,使表层纤维向心层移动、心层密度提高,减小表心层密度比。在生产陡峭型和陡平型 VDP 板材时,为了提高表心层密度比、控制板坯的厚度偏差和保护压机设备,高压作用时间应略长于闭合时间;在生产平坦型 VDP 板材时,为了减低表心层密度比、控制板坯的厚度偏差,高压作用时间应短于闭合时间。

由图 7 可知:在  $p_1=3$  MPa、 $t_1=30$  s 时,第一次降压压力  $p_3$  越低,表心层密度比越小,心层密度越高,表面低密度区厚度越大,且变化幅度越大;当  $p_3=0$  MPa 时,表心层密度比为 1.19,心层密度达到  $725 \text{ kg/m}^3$ ,表面低密度区厚度为 0.74 mm,表层厚度达到 4.89 mm,生产出理想的平坦型 VDP 板材。

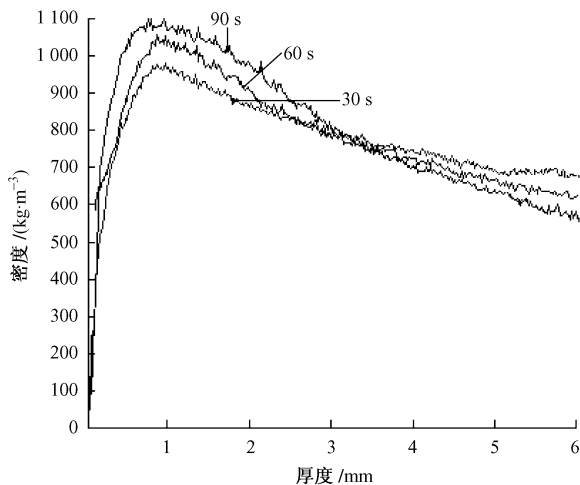


图 6 高压作用时间  $t_1$  对板材 VDP 的影响

FIGURE 6 Effects of the hot-pressing time in “high pressure”

region ( $t_1$ ) on VDP of the mat

注:  $t_2=30$  s,  $p_1=4.0$  MPa,  $p_2=p_3=1.5$  MPa。

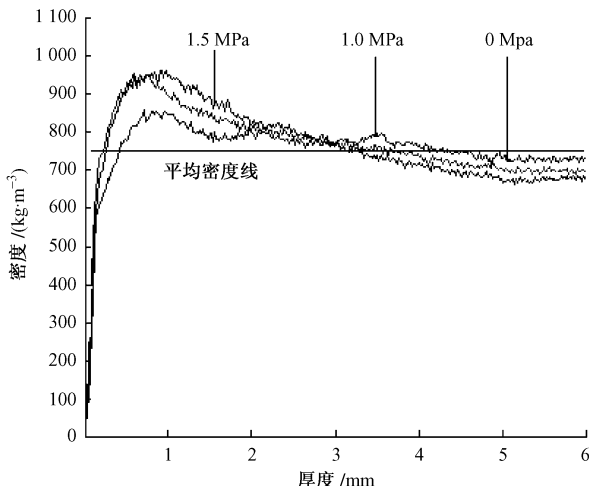


图 7 弱高压阶段作用时  $p_3$  对 VDP 的影响

FIGURE 7 Effects of the pressure for the 1st pressure dropping ( $p_3$ )

on VDP of the mat under weak effect of high pressure stage

注:  $t_1=30$  s,  $t_2=30$  s,  $p_1=3.0$  MPa,  $p_2=1.5$  MPa。

降压压力  $p_3$  越低,表心层密度比越小,心层密度越高,表面低密度区厚度越薄;当  $p_3=1$  MPa 时,表心层密度比为 1.61,心层密度达到  $640 \text{ kg/m}^3$ ,表面低密度区厚度为 0.76 mm,表层厚度减小到 2.39 mm,生产出比较理想的陡平型 VDP 板材。 $p_3$  的存在使得降压阶段板坯的内应力大于系统压力,板坯膨胀,内部纤维向心部移动。当  $p_3$  较大时,向心层移动的纤维主要来自于表层高密度区厚度的减小,表层高密度变化很小,使得心层密度增加; $p_3$  较小时,表层高密度区密度减小,使得内部密度大量增加。

比较图 7、8 可知:高压作用较弱时,  $p_3$  越小,表层厚度增大越多;高压作用较强时,  $p_3$  越小,表层厚度减小量越大。

当  $p_1=3$  MPa、 $t_1=30$  s 时,高压

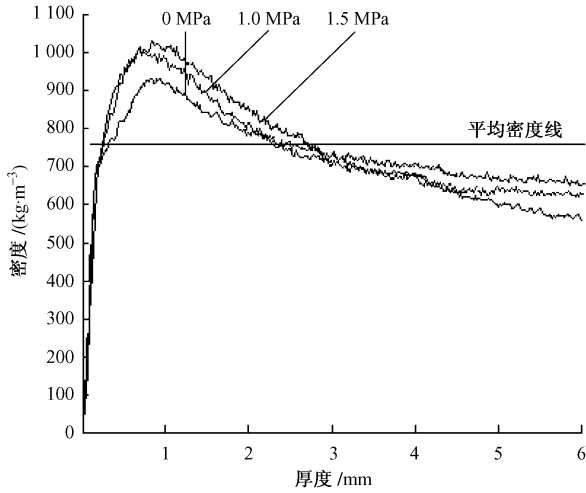


图8 强高压阶段作用时  $p_3$  对 VDP 的影响图

FIGURE 8 Effects of the pressure for the 1st pressure dropping ( $p_3$ ) on VDP of the mat under strong effect of high pressure stage

注:  $t_1=90$  s,  $t_2=30$  s,  $p_1=4.0$  MPa,  $p_2=1.5$  MPa。

阶段结束时板坯仍未被压缩至目标厚度, 高压阶段形成的表层高密度区密度相对较低且不稳定, 降压阶段第一次降压压力的存在, 使得板坯表层纤维向心层移动, 造成部分靠近板坯表层的低密度区密度超过平均密度, 因此形成的板材表层厚度增加; 当第一次降压压力越小时, 向板坯心层移动的纤维量越多, 表层厚度越大, 板材 VDP 越均匀。当  $p_1=4$  MPa、 $t_1=90$  s 时, 高压阶段后期板坯已经被压缩至目标厚度, 板坯表心层密度比很大, 长时间的高压作用使得板坯表层纤维密度较高且比较稳定, 降压阶段向心层移动的纤维, 主要来自于胶黏剂未固化的表层高密度区, 使得表心层过渡区密度梯度变得更陡峭, 板材表层厚度减小。

总之, 板坯含水率分布、热压曲线等热压工艺参数对板材 VDP 具有重要的调节作用。热压均匀含水率较高的板坯, 高压阶段发生在板坯闭合阶段内, 当高压较大、高压作用时间较长时, 控制第一次降压压力的大小, 可以使得表层最高密度基本不变、心层密度提高, 生产出陡平型 VDP 板材; 高压较小、高压作用时间较短时, 较小的第一次降压压力, 可以大幅度减小表心层密度比, 生产出平坦型 VDP 板材。

### 3 结 论

1) 板坯均匀含水率越大, 表心层密度比越高, 心层密度越低, 表面质量越好。表层含水率高于心层含水率, 有助于提高表心层密度比和形成较好的表面质量; 表层含水率低于心层含水率, 有助于降低表心层密度比。

2) 在其他条件一致的情况下, 高压压力的增

大, 会增加板材表心层密度比、减小心层密度, 当高压压力增大到一定程度时, 继续提高高压压力对板材 VDP 影响很小; 高压阶段不超过闭合时间时, 高压作用时间越长, 板材表心层密度比越高, 心层密度越小。

3) 第一次降压压力越小, 降压过程中板坯厚度膨胀越大, 表层高密度纤维向心层移动量越多, 表层密度越小, 心层纤维量增加, 心层密度增大。

4) 高压阶段作用很强时, 降压阶段第一次降压压力越小, 表层厚度减小量越大; 通过控制第一次降压压力的大小, 可以在基本不改变表层密度的条件下, 通过减小表层厚度来增加心层密度, 制取陡平型 VDP 中密度纤维板。

5) 高压阶段作用较弱时, 降压阶段第一次降压压力越小, 表层厚度增加量越大; 通过减小第一次降压压力, 可以减小表心层密度比, 增加表层厚度, 制取平坦型 VDP 中密度纤维板。

### 参 考 文 献

- [1] 吴章康, 周定国. 木质人造板剖面密度分布的意义与研究进展[J]. 木材工业, 2001, 15(4): 3-5.
- [2] 王贵涛. 剖面密度测定与人造板质量控制[J]. 木材工业, 2005, 19(1): 37-39.
- [3] 张宏健, 赵立. PF-纤维板剖面密度分布特征的研究[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(1): 66-74.
- [4] 徐咏兰, 张贵麟. 工艺因素对纤维板板性的影响[J]. 林业科技开发, 1997(4): 42-44.
- [5] WANG S Q, WINISTORFER P M. Fundamentals of vertical density profile formation in wood composites (II): Methodology of vertical density formation under dynamic conditions [J]. *Wood and Fiber Science*, 2000, 32(2): 220-238.
- [6] WINISTORFER P M. Fundamentals of vertical density profile formation in wood composites (I): *In-situ* density measurement of the consolidation process [J]. *Wood and Fiber Science*, 2000, 32(2): 209-219.
- [7] WEI X. Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composites panels: A theoretical consideration [J]. *Wood and Fiber Science*, 1999, 31(3): 277-282.
- [8] 王凤鸣. 纤维板断面密度分布的控制[J]. 林产工业, 1996, 10(4): 27-32.
- [9] 于志明. 人造板热压过程中板坯内部环境的研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(5): 80-84.
- [10] 谢力生. 人造板热压应力研究[J]. 木材工业, 2006, 20(1): 4-7.
- [11] 张扬, 于志明. 纤维板断面密度分布热压形成过程的研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(3): 121-123.
- [12] WINISTORFER P M. Modeling and comparing vertical density profile [J]. *Wood and Fiber Science*, 1996, 28(1): 133-141.

(责任编辑 李文军)